ZUR BLUTZIRKULATION IN DER LUNGE BEI GESCHLOSSENEM UND OFFENEM THORAX UND DEREN BEEINFLUSSUNG DURCH ÜBER- UND UNTERDRUCK.

INAUGURALDISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER MEDIZINISCHEN DOKTORWÜRDE

VORGELEGT DER

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT ZU FREIBURG IM BREISGAU

VON

FRIEDRICH VON ROHDEN
ARZT AUS HELSINGFORS (FINLAND).

LEIPZIG.
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1913.

ZUR BLUTZIRKULATION IN DER LUNGE BEI GESCHLOSSENEM UND OFFENEM THORAX UND DEREN BEEINFLUSSUNG DURCH ÜBER- UND UNTERDRUCK.

INAUGURALDISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER MEDIZINISCHEN DOKTORWÜRDE

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

VORGELEGT DER

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT ZU FREIBURG IM BREISGAU

VON

FRIEDRICH VON ROHDEN
ARZT AUS HELSINGFORS (FINLAND).

LEIPZIG.
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1913.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545322_0067

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät.

Der Dekan:	Der Referent:
Prof. Dr. Axenfeld.	Prof. Dr. Morawitz.

Die Frage nach der Abhängigkeit der Blutzirkulation in der Lunge von Blähungszustand und Druck hat schon eine große Zahl von Bearbeitern gefunden. Nach der umfassenden Zusammenstellung Tigerstedt's[1]) wurden die Untersuchungen größtenteils an toten oder herausgeschnittenen Lungen angestellt. Es fragt sich aber, ob diese Art der Versuchsanordnung uns berechtigt, bindende Schlüsse auf den physiologischen Blutumlauf in der lebenden Lunge zu ziehen. Die an einem funktionell und anatomisch so komplizierten Organ angestellten künstlichen Durchblutungsversuche können schon deshalb kaum einwandsfreie Resultate ergeben, weil die Faktoren, von denen die Durchblutungsgröße in erster Linie abhängig ist — wir nennen nur den intra- und extrapulmonalen Luftdruck und die an das lebende Gewebe gebundenen Änderungen der Elastizitätsverhältnisse — niemals in Versuchen an toten Organen exakt nachgeahmt werden können.

Gerade in letzter Zeit hat sich nun im Anschluß an die Ausbildung des Sauerbruch'schen und Brauer'schen Druckdifferenzverfahrens das Interesse von neuem der Physiologie des kleinen Kreislaufs zugewandt. Der einheitlichen Entscheidung der Frage, welches von beiden Verfahren das physiologisch überlegenere sei, stand jedoch die offenbare Unzulänglichkeit der üblichen Untersuchungsmethoden hindernd im Wege. Auch die von

1) Tigerstedt, Ergebnisse der Physiologie, Bd. 2 1903.

Bruns[1]) zu seinen Pneumothoraxversuchen verwandte Methode, die „durch Messung und Kolorimetrie des aus beiden Lungen getrennt aufgefangenen und ausgewaschenen Blutes“ Aufschluß geben soll über die Durchblutung kollabierter und atmender Lungen, hat den Nachteil, daß die Zirkulation willkürlich unterbrochen wird und der Blutgehalt der Lunge daher eben nur für diesen Augenblick der künstlichen Unterbrechung festgestellt werden kann.

Es bedeutet daher einen wesentlichen Fortschritt in der Untersuchungsmethodik der Lungenzirkulation, daß Cloetta[2]) in seiner Lungenplethysmographie ein Verfahren angab, das die lebende Lunge bei jedem beliebigen Blähungszustand unter Erhaltung der normalen Zirkulation zu untersuchen erlaubt. Tatsächlich scheinen hier die physiologischen Verhältnisse in höherem Maße gewahrt zu bleiben.

Die Methodik der folgenden Untersuchungen gründet sich nun auf ein kürzlich von Heß[3]) beschriebenes Verfahren, das ein weiteres Untersuchungsprinzip der Lungenzirkulation darstellt. Es hat mit den bisher üblichen künstlichen Durchblutungsversuchen und chemischen und kolorimetrischen Bestimmungen des Blutgehalts der Lunge gar nichts gemeinsam und mit der Cloetta'schen plethysmographischen Methode nur das eine, allerdings wesentlichste, daß es am lebenden Organ ohne komplizierte chirurgische Eingriffe und ohne Änderung der natürlichen Zirkulationsverhältnisse angestellt werden kann. Es handelt sich hier um gasanalytische Blutuntersuchungen, die es ermöglichen, quantitative Vorstellungen über die Durchblutung jeder Lunge für sich unter den verschiedensten Bedingungen zu gewinnen.

Die Methode beruht auf der Überlegung, daß die Änderung des Sauerstoffgehalts des Carotisblutes ein Maß darstellt für die Durchblutungsgröße der Lunge. Die Versuchsanordnung ähnelt dem Verfahren, das von Loewy und Schrötter[4]) zur Bestimmung des Gaswechsels in den Alveolen angegeben wurde. Durch einen kleinen aufblasbaren Gummiballon, der oberhalb der Öffnung einer Kanüle befestigt ist, wird hier wie dort der Bronchus einer Lunge vollständig abgesperrt. Wenn

1) Bruns, Beiträge zur Klinik der Tuberkulose 1909. — Deutsches Arch. f. klin. Med. 1912, 5. u. 6. H.

2) Cloetta, Arch. f. exper. Path. u. Ther. 1911, 66. Bd.

3) Heß, Deutsches Arch. f. klin. Med. 1912, 106. Bd.

4) Loewy u. Schrötter, Engelmann's Arch. 1903.

man in dieser Weise die Hälfte des respirierenden Parenchyms von der Atmung ausschaltet, sinkt der Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes im großen Kreislauf um einen bestimmten Wert, der abhängig ist von der Durchblutungsgröße der nicht atmenden Lunge. Die Änderung des Sauerstoffgehalts wird gering sein, wenn die Hauptmasse des Blutes durch die atmende Lunge strömt, was dann eintreten wird, wenn sich die ausgeschaltete Lunge gegen den Blutzustrom sperrt. Geschieht dies nicht, so muß der Sauerstoffgehalt beträchtlich sinken. In jedem Fall wird sich bald nach der Absperrung ein Gleichgewichtszustand zwischen arterialisiertem und nicht arterialisiertem Blut und dementsprechend auch im Mischblut des linken Herzens herstellen. Der Sauerstoffgehalt muß sich aber sofort ändern, wenn die Blutverteilung auf beide Lungen eine Verschiebung erfährt. Wenn z. B. durch die abgesperrte Lunge weniger Blut fließt als vorher, die atmende aber dementsprechend mehr erhält, so wird der Sauerstoffgehalt des Carotisblutes steigen, und zwar um so mehr, je spärlicher die abgesperrte Lunge durchblutet wird.

Was geschieht nun, wenn man der einen Lunge die Möglichkeit der Arterialisierung nicht wie oben durch Verhinderung der Respiration nimmt, sondern in der Weise, daß man sie ein indifferentes Gas, etwa Stickstoff, atmen läßt?

Durch diese Versuchsanordnung wird wieder annähernd die Hälfte des respirierenden Alveolarepithels von der Sauerstoffaufnahme ausgeschlossen. Der Teil des venösen Blutes, der aus dem rechten Herzen der Stickstoff atmenden Lunge zufließt, kann also nicht arterialisiert werden, während das die normal atmende Lunge passierende Blut sich maximal mit Sauerstoff sättigt. Es muß also der Sauerstoffgehalt des vollarterialisierten Blutes der einen Lunge durch Beimischung des venösen Blutes der anderen um einen bestimmten Betrag herabgesetzt werden, der sich ohne weiteres aus der gasanalytischen Untersuchung des Carotisblutes vor und nach der Stickstoffatmung ergibt. Natürlich darf man bei Ausschaltung der einen Lunge nicht ein Sinken des Sauerstoffgehalts auf die Hälfte des ursprünglichen Wertes erwarten, denn einerseits ist, wie noch gezeigt werden soll (vgl. p. 8), die Sauerstoffaufnahme nicht abhängig von der Größe der atmenden Lungenoberfläche, andererseits würde, hiervon abgesehen, der Sauerstoffgehalt auch nur dann in der angenommenen Weise vermindert werden, wenn der eine Faktor des Mischblutes vollständig sauerstofffrei wäre. Das ist aber durchaus nicht der Fall, da nach den

Untersuchungen von Loewy und Schrötter[1]) den Geweben nur etwa $^1/_3$ des verfügbaren Sauerstoffs abgegeben wird. Das Blut der Stickstoff atmenden Lunge enthält also noch beträchtliche Mengen Sauerstoff. Wenn man, wie Heß in seiner Arbeit getan hat, den großen Schwankungen unterworfenen Gasgehalt des venösen Blutes aus dem rechten Herzen in jedem Fall vorher ermittelt, so ergibt sich eine recht gute Übereinstimmung des experimentell gefundenen mit dem berechneten Wert[2]).

I. Über- und Unterdruck bei geschlossenem Thorax.

Nachdem sich die Heß'sche Methode auf Grund dieser Resultate als durchaus brauchbar und ergebnisreich erwiesen hatte, lag es nahe, sie anzuwenden auf die Lösung der von Cloetta neuerdings zur Diskussion gestellten Frage, in welcher Weise eine Änderung des Druckes auf der Innen- und Außenfläche der Lunge ihre Zirkulation beeinflußt.

Da bei den folgenden Versuchen ungefähr die Hälfte der Lungenoberfläche von der Atmung ausgeschaltet wird, sollte ein Vorversuch darüber Aufschluß geben, ob die Arterialisierung des Blutes von der Größe der atmenden Oberfläche abhängig sei.

Nach einer Blutentnahme aus der Carotis eines leicht mit Urethan narkotisierten Kaninchens eröffneten wir bei künstlicher Atmung den Thorax in der Medianlinie. Nach Abbinden des rechten Oberlappens und seiner Gefäße dicht am Hilus wurde eine zweite Blutprobe entnommen und kurz darauf eine dritte, nachdem um den Rest der rechten Lunge eine weitere Ligatur gelegt war. Eine geringe Zunahme des Volumens und eine deutliche Hyperämie der linken Lunge war dabei zu beobachten als Zeichen, daß die freigelassene Lunge stärker durchblutet wurde. Das Tier vertrug diesen Eingriff ohne erhebliche Störung. Die gasanalytische Blutuntersuchung, die hier wie in allen folgenden Versuchen nach der Ferrizyanidmethode von Barcroft und Haldane mit den für ungesättigtes Blut geltenden Bestimmungen vorgenommen wurde, ergab einen Sauerstoffgehalt von 12,25 % für die erste Blutprobe, von 12,05 % für die zweite und von 11,93 % für die dritte Blutprobe.

Aus diesen Zahlen ist zu entnehmen, daß nach Ausschaltung von mehr als der Hälfte des Lungenparenchyms — die rechte Kaninchenlunge ist nach Krause[3]) $^1/_3$ größer als die linke — der Sauerstoffgehalt des Blutes nur um einen so geringen Wert

1) Loewy u. Schrötter, Zeitschr. f. exper. Path. u. Ther. I 1905.
2) Vgl. Heß, l. c. p. 484.
3) Krause, Anatomie des Kaninchens. 1886.

sinkt, daß man unter Berücksichtigung der Fehlerquellen praktisch von einem Gleichbleiben des Sauerstoffgehaltes reden kann.

Schon Lichtheim[1]) hatte $^3/_4$ des gesamten Lungenstromgebiets ausschalten können, ohne daß eine Drucksteigerung in der Arteria pulmonalis oder dem rechten Ventrikel eintrat. Er stellte sich vor, daß die Verkleinerung der Lungenoberfläche und ihres Gefäßgebietes durch vermehrte Stromgeschwindigkeit in den übrig bleibenden Lungengefäßen ausgeglichen würde. Hierzu ist zu bemerken, daß eine genügende Kompensation offenbar auch dadurch erreicht werden könnte, daß nicht die Geschwindigkeit des Blutstroms, sondern die Kapazität der Gefäße sich vergrößert.

Jedenfalls geht aus den gewonnenen Zahlen hervor, daß bei Einschränkung der respirierenden Lungenoberfläche unter gleichzeitigem Abschluß ihres Gefäßnetzes eine maximale Sättigung des Blutes auch noch in den übrig bleibenden Lungenteilen erfolgen kann, daß also in diesem Fall die Arterialisierung unabhängig ist von der Größe der respirierenden Oberfläche. Die Zahlen erlauben jedoch noch keinen Schluß auf die Beziehungen der Sauerstoffsättigung zur Stromgeschwindigkeit, da natürlich bei Vergrößerung der Gefäßlumina die Geschwindigkeit des im ganzen vermehrten Blutquantums nicht größer zu werden braucht. Wir wissen also noch nicht, ob die maximale Sättigung des Blutes auch unabhängig ist von der Zeit.

Wir kommen jetzt zurück zur Untersuchung der Abhängigkeit der Lungenzirkulation vom Druck.

Die Technik der Versuche ist kurz folgende: Zum luftdichten Abschluß der linken Lunge wurde die von Heß beschriebene zweizinkige Tamponkanüle[2]) verwandt. Bei ihrer Einführung durch eine kleine Tracheotomiewunde ist der Größe und den topographischen Lageverhältnissen des rechts- und linksseitigen Hauptbronchus Rechnung zu tragen. Der linke Bronchus verläuft steiler nach abwärts als der rechte, er stellt gewissermaßen die Verlängerung der Trachea dar. Bei dem mehr seitlich ansetzenden rechten Bronchus ist der Winkel, der mit der Trachea gebildet wird, weniger stumpf als links. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse gelingt die Einführung der Kanüle in den linken Bronchus meist ohne Schwierigkeit.

Nach Entnahme der ersten Blutprobe aus der Carotis unter den von Heß angegebenen Kautelen — es wurden jedesmal 3—4 ccm entnommen — führt man „durch einen queren Trachealschnitt die Kanüle vorsichtig

1) Lichtheim, Habilitationsschrift. Breslau 1876.
2) Abbildung Hess, l. c. p. 487.

so weit in die Trachea ein, bis die Gabel auf der Bifurkation reitet, was sich leicht aus dem Gefühl des Festsitzens beurteilen läßt".[1]) Auch wir wählten zum Abschluß nur die linke Lunge, z. T. wegen der aus den anatomischen Verhältnissen hervorgehenden leichteren Einführung, z. T. weil Heß hatte feststellen können, daß der Verschluß des rechten Bronchus nicht immer sicher gelingt. Bei zu engem Bronchus und bei anormaler Form der Bronchialgabel kommt es zuweilen nicht zum Reiten der Kanülengabel auf der Bifurkation, so daß der Zugang zu beiden Bronchien versperrt wird. Schon vor Aufblasen des den Verschluß bewirkenden Gummiballons am peripheren Ende der Kanüle erkennt man die falsche Lage daran, daß an der Tracheotomiewunde neben der Kanüle ein Luftstrom nicht mehr festzustellen ist, da der Luftwechsel in diesem Fall nur durch die Kanüle erfolgt. Bläst man nun auf und läßt das Tier Stickstoff atmen, so treten natürlich nach einigen Sekunden Erstickungsanfälle auf.

Die zur Kontrolle der exakten Lage der Kanüle vorgenommene Sektion ergab stets folgenden Befund: Die Kanülengabel saß fest auf der Bifurkation, der Sporn ragte in das Lumen des rechten Bronchus hinein, während das Kanülenende mit dem aufgeblähten Gummiballon pfropfenartig den Anfangsteil des linken Bronchus versperrte. Eine Kompression der benachbarten Gefäße findet nach Heß nicht statt, da die Knorpelringe des Bronchus eine stärkere Ausdehnung des schwachen Gummis verhindern, abgesehen davon, daß auch die gewonnenen Resultate gegen die Möglichkeit einer Kompression sprechen.

Nachdem die anfänglichen heftigen dyspnoischen Atembewegungen nachgelassen haben, bringt man das obere Kanülenende mit einem stickstoffhaltigen Glasballon in Verbindung, der seinerseits an ein Wassermanometer angeschlossen ist. An den Ausschlägen des Manometers läßt sich Größe und Zahl der respiratorischen Atembewegungen genau kontrollieren. Etwaige durch Temperaturschwankungen oder Stenose bedingten Druckänderungen in der linken Lunge und dem Stickstoffsystem lassen sich durch einen Hahn ausgleichen.

Nach 10 Minuten Stickstoffatmung wird der Carotis eine zweite Blutprobe entnommen. Der Farbenunterschied der beiden Proben war meistens ganz auffällig. Das bei normaler Atmung entnommene Blut hatte die bekannte hellrote Farbe des gesättigten Blutes, während die zweite Probe eine tiefrote Farbe aufwies, zuweilen mit einem Stich ins Bläuliche, ein Zeichen für den mehr oder weniger hohen Grad der Sauerstoffabnahme. Bei einiger Übung lassen sich beim Vergleich der Blutproben noch Farbenunterschiede deutlich erkennen, die einer Sauerstoffdifferenz bis zu 1 % entsprechen.

Nach der zweiten Blutentnahme wird durch Erwärmen des Stickstoffs der Druck in der linken Lunge erhöht. Da es sich nur um niedrige Werte von höchstens 24 cm Wasser handelte, konnte der gewünschte Druck in einfachster Weise durch die Wärme der Hand erzielt und durch Berühren von größeren oder kleineren Flächen des stickstoffhaltigen

1) Heß, l. c. p. 483.

Glasballons auch durchaus konstant gehalten werden. Die Wirkung einer Druckerhöhung bis zu 18 cm auf die Respiration war bei den meistens verwandten kräftigen Tieren von 3—$3^1/_2$ kg an den Ausschlägen des Manometers kaum zu erkennen. Allerdings bei noch höherem Druck trat zuweilen vorübergehende Beschleunigung und Abflachung der Atmung ein.

Die dritte Blutentnahme erfolgte nach weiteren 10 Minuten Stickstoffatmung unter konstantem intrapulmonalen Überdruck. Wir wählten für die Atmung unter den verschiedenen Druckwerten immer die gleiche Dauer, um etwaige, durch Zeitdifferenzen bedingte Einflüsse von vornherein auszuschalten. Beim Farbenvergleich der drei Blutproben zeigte sich in den meisten Fällen, daß das zuletzt entnommene Blut deutlich heller war als die zweite Blutprobe und entsprechend der Größe des angewandten Druckes sich mehr oder weniger der Farbentönung der ersten Blutprobe zu nähern begann. Besonders schön kamen diese Farbendifferenzen zur Geltung, wenn der Versuch noch fortgesetzt wurde. Man hatte dann unter Umständen 4—5 verschiedene Farben, deren Helligkeitszunahme dem steigenden Druck entsprach. Da nun der Farbenton in diesem Fall nur vom Sauerstoffgehalt abhängig ist, so konnte schon aus den Farbenunterschieden eine dem Druck proportionale Sauerstoffzunahme abgeleitet werden. Eine Zusammenstellung der prozentualen Werte des Sauerstoffgehalts der einzelnen Blutproben zeigt noch deutlicher die Abhängigkeit der Gasspannung vom angewandten Druck (s. Tabelle I).

Tabelle I.

Normale Atmung		Stickstoff-Atmung				
		Überdruck				
Atmosphärendruck		3 cm H_2O	4 cm H_2O	8 cm H_2O	16 cm H_2O	24 cm H_2O
12,55	9,01	9,52	—	10,43	—	—
17,53	15,06	—	15,44	16,77	—	—
18,66	9,65 (?)	—	13,07	15,82	—	—
15,2	10,17	—	—	11,25	13,35	—
21,12	17,46	—	—	18,53	—	19,39
15,17	12,45	—	—	13,42	—	—

Aus diesen Zahlen ist zu ersehen, daß der Sauerstoffgehalt des Carotisblutes bei Stickstoffatmung sinkt und bei Erhöhung des Drucks in der Stickstoff atmenden Lunge wieder steigt, ohne jedoch den ursprünglichen Sauerstoffwert des bei normaler Atmung entnommenen Blutes zu erreichen. Das Steigen des Sauerstoffgehalts ist nun ein Beweis dafür, daß bei Überdruck in der einen Lunge sich die Hämoglobinoberfläche des oxydierbaren Blutes in der anderen vergrößert, daß also eine geringere Durchblutung

der unter Druck stehenden Lunge und eine dementsprechend stärkere Durchblutung der normal atmenden Lunge stattfindet.

Außerdem muß man auf Grund dieser Zahlen annehmen, daß der intrapulmonale Überdruck auf der einen Seite das Mediastinum jedenfalls nicht in dem Maße nach der gesunden Seite vorwölbt, daß auch die rechte Lunge komprimiert und in ihrer Durchblutung beeinträchtigt wird. Eine Verschlechterung der Oxydationsmöglichkeit auch in der Sauerstoff atmenden Lunge hätte natürlich nur ein Sinken des Sauerstoffgehalts und nicht die beobachtete Steigerung zur Folge haben können. Aber auch ein Gleichbleiben der Sauerstoffspannung wurde in keinem Fall registriert, was auch nur dann möglich gewesen wäre, wenn die Druckerhöhung keine Änderung der Blutverteilung herbeigeführt hätte. Zur Erklärung der tatsächlich festgestellten Steigerung des Sauerstoffgehalts bleibt also keine andere Annahme übrig, als daß infolge des Überdrucks in der linken Lunge die rechte besser durchblutet wird.

Es fragt sich nun, ob auf Grund dieser Befunde die Behauptung berechtigt ist, daß ganz allgemein eine Zunahme des intrapulmonalen Luftdrucks über beiden Lungen eine Verschlechterung der Zirkulation im kleinen Kreislauf zur Folge hat. Unsere Versuche beweisen zunächst nur, daß bei einseitiger Drucksteigerung die betreffende Lunge schlechter durchblutet wird. Es steht hier also dem Blut, das die durch Druck verengten Kapillaren nicht mehr passieren kann, gewissermaßen als Sicherheitsventil das normal weit geöffnete Kapillarnetz der anderen Lunge zur Verfügung. Jedoch die Versuche De Jager's[1]) und Romanoff's[2]) sprechen dafür, daß auch bei Druckerhöhung über beiden Lungen die Zirkulation beeinträchtigt wird. De Jager sah zwar bei der Aufblähung der Lungen von der Trachea der Kapillarverengerung eine Kapazitätszunahme vorausgehen, die in unseren Versuchen auch bei den niedrigsten Druckwerten nicht zur Beobachtung kam.

Wenn durch Erhöhung des intrapulmonalen Drucks schlechtere Zirkulationsverhältnisse geschaffen werden, so war a priori anzunehmen, daß ein negativer Druck über der Lungeninnenfläche eine Kapazitätszunahme der Gefäße bedingen würde. Die Stickstoffatmung der linken Lunge unter erniedrigtem Druck mußte

1) De Jager, Pflüger's Arch. Bd. 20, 27, 36, 39.
2) Romanoff, Arch. f. exp. Path. u. Ther. 1911 Bd. 64.

also eine Abnahme der Durchblutungsgröße der rechten Lunge und dementsprechend ein Sinken des Sauerstoffgehalts des Mischblutes zur Folge haben.

Ein daraufhin angestellter Versuch fiel auch in diesem Sinne aus. Der negative Druck über der linken Lunge war in einfachster Weise dadurch zu erzielen, daß aus dem mit der linken Lunge in Verbindung stehendem Glasballon eine geringe Stickstoffmenge abgesaugt wurde. Im übrigen war die Methodik die gleiche wie bei den vorhergehenden Versuchen. Das Resultat ist folgendes: Bei normaler Atmung 11,68 %, bei Stickstoffatmung ohne Druck 8,33 %, bei einem Unterdruck von —12 cm Wasser 7,27 % Sauerstoff.

Aus diesen Werten läßt sich also entnehmen, daß die Druckerniedrigung über der linken Lunge eine Verbesserung ihrer Zirkulation zur Folge hat, eine Tatsache, die ebenfalls von Romanoff[1]) allerdings nur für künstliche Durchblutungsversuche an toten Lungen festgestellt wurde, und die ja auch schon mehrfach therapeutische Verwendung gefunden hat.[2])

Aus den bei Über- und Unterdruck am geschlossenen Thorax angestellten Versuchen ergibt sich also, daß die Kapazität der Lungengefäße abhängig ist von dem auf der Lungeninnenfläche lastenden Druck. Zur theoretischen Erklärung dieser Abhängigkeit der Lungenkapazität vom Druck kann folgendes angeführt werden.

Trotzdem über die Existenz und Funktion der Lungenvasomotoren noch wenig Definitives feststeht, sind wir heute doch wohl schon zur Annahme berechtigt, daß sie für die Lungengefäße nur untergeordnete Bedeutung haben, daß vielmehr in erster Linie mechanische Einflüsse ihren Füllungszustand bedingen.[3]) Nach Tendeloo's[4]) bekannten Untersuchungen über die Kapazitätsverhältnisse elastischer Röhren muß man wohl annehmen, daß bei Druckerhöhung infolge der senkrecht an den Alveolenwandungen angreifenden Kraft eine Kompression und Verengerung der im Blähungszustand an und für sich gestreckten und verlängerten Gefäße stattfindet. Die hieraus resultierende Erschwerung der Zirkulation spricht sich auch aus in der schon von mehreren

1) Romanoff, l. c.

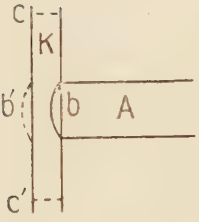
2) Bruns, Münchener med. Wochenschr. 1910 Nr. 42. — Albrecht, Deutsche med. Wochenschr. 1911 p. 859. — Pick, Medizinische Klinik 1911 Nr. 42.

3) Vgl. Sauerbruch, Mitteilung aus den Grenzgebieten 1904 Bd. 13.

4) Tendeloo, Verhandl. d. deutschen Naturforscher u. Ärzte 1907.

Autoren[1]) bei Aufblähung der Lunge festgestellten Blutdrucksteigerung im kleinen Kreislauf. Das Umgekehrte ist bei Erniedrigung des Druckes der Fall. Hier greift die Kraft in entgegengesetzter Richtung, also als Zug an der Alveolenwand an, und aus dieser Zugwirkung resultiert eine Erhöhung der Kapazität und Erleichterung des Blutumlaufs. Die vorliegenden Verhältnisse lassen sich an einer Skizze veranschaulichen, die Sauerbruch[2]) zur Erklärung der Blutzirkulation beim Druckdifferenzverfahren gegeben hat (Fig. 1).

Fig. 1.



A sei ein zuführender Alveolengang, K ein in der Alveolenwand verlaufendes Kapillargefäß. Bei Erhöhung des Druckes auf der Lungeninnenfläche wird zunächst eine Vorwölbung (b) der Kapillarwand erfolgen. Wäre nun die Kapillare bei c und c' verschlossen, so würde der Vorwölbung bei b eine Ausbuchtung um den gleichen Betrag bei b' entsprechen, eine Raumverengerung also nicht eintreten. Nun ist aber unter normalen Verhältnissen der bei c und c' angenommene Verschluß niemals vorhanden. Es wird also „die leicht verschiebliche Blutflüssigkeit dem Druck der sich vorwölbenden Gefäßwand bei b ausweichen, die Gefäßwand bei b' aber unbeeinflußt bleiben".[3]) Als Resultat des Überdrucks ergibt sich also eine Verengerung des Kapillarnetzes. Beim Unterdruck auf der Lungeninnenfläche dagegen wird die Gefäßwand bei b in das Lumen des zuführenden Alveolengangs A angesaugt, ohne daß der gegenüberliegende Gefäßabschnitt in die Kapillare sich vorwölbt. Mit anderen Worten: Bei Unterdruck wird eine Kapazitätszunahme entstehen.

Mit dieser also auch theoretisch abzuleitenden Abhängigkeit der Kapazität der Lungengefäße vom Innendruck ist natürlich noch nichts ausgesagt über den Einfluß des durch die Respirationsphasen bedingten Blähungszustandes auf die Blutfüllung. Es handelt sich nämlich beim Zustandekommen der künstlichen und physiologischen Lungenblähung um die Wirkung zweier Kräfte, die zwar den gleichen Effekt erzielen, nämlich ein Volumen pulmonum auctum, die aber ihrem Wesen nach scharf auseinandergehalten werden müssen, wie sich aus dem zweiten Teil unserer Arbeit ergeben wird, nämlich in dem einen Fall um einen Druck von innen, im anderen um einen Zug von außen.

---

1) Vgl. Talma, Pflüger's Arch. Bd. 29. — Beutner, Zeitschr. f. rat. Med. 1852. — Lichtheim, l. c. — Seidel, Mitteilung aus den Grenzgebieten. 1907 Bd. 17.

2) Sauerbruch, Ergebnisse der Chirurgie u. Orthopädie 1910 Bd. I.

3) Vgl. Sauerbruch, l. c.

Zwar bleibt während der Respirationsphasen der intrapulmonale Luftdruck ja auch nicht immer konstant. Der normalerweise auf dem Kapillarnetz lastende Atmosphärendruck steigt bekanntlich bei der Exspiration und sinkt bei der Inspiration. Diese Schwankungen sind aber wegen des schnellen Ausgleichs der Luft äußerst gering. Nach Ewald[1]) beträgt der normale Atmungsdruck während der Inspiration 1.3 cm H_2O. in der Exspiration 1.7 cm. Viel wichtiger als diese minimalen Druckvariationen ist für die Kapazitätsänderung der Gefäße der inspiratorische Blähungszustand, der nun nicht wie in unseren Versuchen durch Druck auf der Lungeninnenfläche zustande kommt, sondern vorwiegend durch eine Zugkraft von außen, die der Erhöhung des Intrapleuraldruckes entspricht. Bei der von uns angewandten Methodik können also nicht physiologische Blähungszustände in bezug auf ihre Kapazitätsunterschiede verglichen werden, sondern nur die Wirkung pathologischer Druckverhältnisse auf die Lungenzirkulation. Wir müssen es also dahingestellt sein lassen, ob die normale inspiratorische Volumvergrößerung der Lunge eine von Tigerstedt[2]) und der Mehrzahl der Autoren angenommene Kapazitätszunahme oder, wie Cloetta[3]) meint, eine Abnahme der Blutfüllung zur Folge hat.

Dagegen scheinen die Bedingungen, wie sie durch unsere Versuchsanordnung gegeben sind, in Beziehung gesetzt werden zu können zu den Durchblutungsverhältnissen beim Lungenemphysem. Nach einer Reihe von Autoren[4]) kommt nämlich die Erhöhung des intrapulmonalen Luftdrucks als ätiologisches Moment bei der Entstehung des substantiellen Emphysems in Betracht. In der ausgebildeten emphysematösen Lunge herrscht dagegen nach Tendeloo's Theorie kein intrapulmonaler Überdruck. Es liegen zwar über die Bedeutung des Druckes beim Zustandekommen des Emphysems noch keine experimentellen Untersuchungen vor. Wenn es sich aber nachweisen ließe, daß das Volumen pulmonum auctum beim Emphysem tatsächlich durch Steigerung des Lungeninnendrucks entsteht, so müßte man auf Grund unserer Versuchsergebnisse annehmen, daß die Zirkulation in der emphysematösen

1) Zitiert nach Sauerbruch, l. c.

2) Tigerstedt, l. c.

3) Cloetta, l. c.

4) Eppinger, Erg. d. allg. Path. und path. Anat. 1904. — Tendeloo, Erg. d. inn. Medizin 1910. — Bohr, Deutsches Arch. f. klin. Med. Bd. 88. — Bruns, Jahreskurs f. ärztl. Fortbildung 1911 H. 2.

Lunge erschwert ist, im Gegensatz zu Bohr's Zweckmäßigkeitstheorie, die im Volumen pulmonum auctum beim Emphysem einen kompensatorischen Reflexvorgang sieht, der eine bessere Durchblutung der Lunge infolge Erweiterung der Kapillaren gewährleisten soll.

Sucht man dagegen mit Freund die Ursache für das Lungenemphysem nicht in der Lunge selbst, sondern in einer primären dauernden Inspirationsstellung des verknöcherten Thorax, so kommen die vorliegenden Versuchsresultate natürlich nicht mehr in Betracht, da sie nur in Parallele gesetzt werden können zu den Wirkungen eines Volumen pulmonum auctum, das durch Druck von innen entstanden ist, und nicht wie das Freund'sche durch Zug von außen.

II. Über- und Unterdruck bei offenem Thorax.

Die alte Streitfrage über die Beziehung des Drucks und des von ihm bedingten Blähungszustandes zur Lungenzirkulation wurde wieder aktuell, als mit Einführung des Druckdifferenzverfahrens durch Sauerbruch[1]) und Brauer[2]) die Frage zu entscheiden war, welche von beiden Methoden, die Sauerbruch'sche Unterdruck- oder die Brauer'sche Überdruckmethode, die zweckmäßigere sei.

Beide Verfahren dienen bekanntlich dazu, bei chirurgischen Eingriffen in die Brusthöhle die schädlichen Folgen des offenen Pneumothorax — in erster Linie Lungenkollaps und Dyspnoe — zu beseitigen. Die durch Eröffnung des Thorax durchbrochene Korrelation der statischen und elastischen Kräfte wird hier wiederhergestellt durch eine künstlich erzeugte Druckdifferenz zwischen Lungeninnen- und -außenfläche, was sich entweder durch Verminderung des Extrapulmonaldrucks Sauerbruch oder Steigerung des Intrapulmonaldrucks (Brauer) erreichen läßt. Es wird also die elastische Kraft, die bei offener Brusthöhle die Lunge nach ihrem Hilus zusammenzieht, überwunden und zwar in dem einen Fall durch Druck von innen, im anderen durch Zug von außen. Der Effekt ist der gleiche: Der durch die wiederhergestellte Druckdifferenz erzielte Blähungszustand erlaubt ein gefahrloses stundenlanges Operieren.

---

1) Sauerbruch, Mitteilung aus den Grenzgebieten 1904 Bd. 13.

2) Brauer, Deutsche med. Wochenschr. 1905, Nr. 38. 1906. — Über Pneumothorax. Marburger Rektoratsrede 1906. — Therapie der Gegenwart 1908.

Der praktischen Einführung der beiden Verfahren standen lange hindernd im Wege die Meinungsverschiedenheiten über ihre Wirkung auf Zirkulation und Atmung. Umfangreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen[1]) wurden zur Beantwortung der Frage angestellt, ob der auf verschiedenem Wege erzielte Blähungszustand die Zirkulation tatsächlich in gleicher Weise beeinflußte, wie Brauer behauptet hatte.

Zwar war Sauerbruch schon in seiner ersten Mitteilung für die physiologische Überlegenheit des Unterdruckverfahrens eingetreten und hatte von vornherein auf die prinzipiellen Unterschiede in der Wirkungsweise der beiden Methoden hingewiesen. Schon vom physikalischen Standpunkt erscheint es unwahrscheinlich, daß bei einem so kompliziert gebauten Organ wie der Lunge die beiden theoretisch zwar gleichartigen, praktisch aber durchaus differenten Verfahren die gleichen Zirkulations- und Atmungsverhältnisse sollten bedingen können. Wenn es sich um die Blähung eines einfachen elastischen Sackes ohne Zwischenwände und Ausbuchtungen und vor allem ohne morphologische Verschiedenheiten im Bau der Wandungen handelte, so wäre wohl theoretisch gegen die Vorstellung nichts einzuwenden, daß derselbe Grad der Lungenblähung und die gleichen Durchblutungsbedingungen durch einen positiven Innendruck wie durch einen gleich großen negativen Außendruck erzielt werden könnten. Nun darf aber das Lungengewebe mit dem weitverzweigten Gefäß- und Bronchialbaum in seiner Abhängigkeit von mechanischen Bedingungen keineswegs mit einem elastischen Sack verglichen werden, schon deshalb nicht, weil seine Wandungen nicht aus einer homogen zusammengesetzten elastischen Einheit bestehen, sondern ein sehr kompliziertes doppeltes Röhrensystem in sich aufnehmen müssen. Schon nach diesen Überlegungen kann es also für den Effekt der Lungenblähung kaum gleichgültig sein, ob als blähende Kraft ein Zug von außen oder ein Druck von innen in Betracht kommt.

Gegen die zuerst von Brauer behauptete theoretische und praktische Gleichheit beider Verfahren erhob sich denn auch bald von verschiedenen Seiten lebhafter Widerspruch. Als erster kam Tiegel[2]) auf Grund theoretischer Überlegungen und Versuche

1) Literatur s. bei Sauerbruch, Ergebnisse der Chirurgie u. Orthopädie 1910 Bd. 1.

2) Tiegel, Berliner Klinik 1905 H. 209.

an einem künstlichen Thoraxmodell zur Überzeugung, daß weder für geringere noch für stärkere Grade der Druck- und Zugwirkung eine wesentliche Gleichheit bestehen kann, daß vielmehr die Kapazität der Lungengefäße in erster Linie abhängig sei vom Innen-, weniger vom Außendruck. Für die Brauer'sche Auffassung traten dagegen Seidel[1]), Dreyer-Spannaus[2]), Schmieden-Brat[3]) ein. Sie sind im wesentlichen der Ansicht, daß die von den Gegnern des Überdruckverfahrens auch experimentell im großen und kleinen Kreislauf festgestellten Zirkulationsstörungen infolge Kompression der Lungenkapillaren durch den erhöhten Bronchialdruck entweder belanglos sind oder in gleicher Weise auch beim Unterdruckverfahren in Erscheinung treten. Hiernach hat man sich also vorzustellen, daß beide Methoden zwar den physiologischen Verhältnissen gegenüber die gleichen Abweichungen zeigen, also gewissermaßen leicht pathologische, praktisch jedoch zu vernachlässigende Bedingungen für Atmung und Zirkulation schaffen. Dagegen wird nach wie vor, besonders von Brauer an der „absoluten Wesensgleichheit" der beiden Verfahren festgehalten. In seiner letzten Arbeit „Über den gegenwärtigen Stand des Druckdifferenzverfahrens" faßt Sauerbruch[4]) seine Kritik der bestehenden Anschauungen und der jetzt üblichen Apparate dahin zusammen, daß zwischen Über- und Unterdruckverfahren zwar geringe physiologische Unterschiede bestehen, die zugunsten des Unterdrucks sprechen, daß sich hieraus jedoch keinerlei Bedenken gegen die Anwendung des Überdrucks ableiten lassen. „Die Wahl dieses oder jenes Apparates ist Sache des Geschmacks."[4])

Hiermit wäre zwar die praktische Seite der Frage erledigt, jedoch noch immer nicht die theoretische. Nach wie vor stand der einwandfreie experimentelle Beweis für die zuletzt noch von Sauerbruch behauptete Ungleichartigkeit der beiden Verfahren noch aus.

In der schon erwähnten Arbeit hat Cloetta[5]) diesen Nachweis versucht. Er führte die Untersuchungen mit seiner Plethysmographenmethode an lebenden Lungen aus und zog aus der Registrierung des Carotisdruckes und des diastolischen Druckes im

1) Seidel, Mitteilungen aus den Grenzgebieten 1907 Bd. 17.
2) Dreyer-Spannaus, Beitr. zur klin. Chir. Bd. 60 H. 1/2.
3) Schmieden-Brat, Münchener med. Wochenschr. 1908, Nr. 47.
4) Sauerbruch, l. c.
5) Cloetta, Arch. f. exper. Path. u. Ther. 1911 Bd. 66.

rechten Ventrikel Schlüsse auf die Wirkung der verschiedenen Über- und Unterdruckwerte. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die an mikroskopischen Präparaten kontrolliert und bestätigt wurden, sind kurz zusammengefaßt folgende:

1. Um die Lunge zu einem bestimmten Volumen auszudehnen, ist eine Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenfläche nötig. Diese Druckdifferenz ist geringer, wenn die Lunge durch negativen Außendruck angesogen, als wenn sie durch positiven Innendruck gebläht wird. Bei gleicher Höhe des negativen und positiven Druckes wirkt also der erstere intensiver, und zwar hat der Zug von außen einen um 30 % größeren Effekt als der gleiche Druck von innen.

2. Bei der Blähung der Lunge durch die Druckdifferenzverfahren tritt eine Behinderung der Zirkulation ein, die größer ist beim Überdruck als beim Unterdruck. Hieraus ergibt sich als Gesamtresultat: „Die rein isolierten Wirkungen von Über- und Unterdruck auf das Lungengewebe und die Zirkulation sind nicht gleichwertig, sondern der Überdruck bedingt eine stärkere Schädigung.“[1])

Mit dem Nachweis dieser anscheinend noch gar nicht beachteten verschiedenen Wirkung von Über- und Unterdruck auf den Grad der Lungenblähung war überhaupt erst die Grundlage geschaffen für eine vergleichende Beurteilung der beiden Druckdifferenzverfahren. Bei den bisherigen Untersuchungen hatte man infolge Anwendung desselben Druckes auf der Lungeninnen- und -außenfläche ganz verschiedene Blähungsgrade in ihrer Wirkung auf die Zirkulation verglichen. Erst die plethysmographische Versuchsanordnung ermöglichte die Feststellung und Berücksichtigung dieser Differenz in der Wirkungsweise der beiden Verfahren.

Eine Nachprüfung dieser für die Beurteilung der konkurrierenden Methoden grundlegenden Beobachtung mit einer anderen Versuchsanordnung erschien um so mehr erwünscht, als die große Kompliziertheit der Cloetta'schen Technik, die, wie der Autor selbst zugibt, manchen Versuch mißlingen ließ, doch einige Zweifel an der Gültigkeit der Resultate aufkommen läßt.

Ich möchte darauf hinweisen, daß schon Schmieden[2]) die Forderung aufstellte, die vorhandenen Unterschiede der Druckdifferenzverfahren durch Blutgasanalysen klar zu legen. Tatsäch-

1) Cloetta, l. c. p. 464.
2) Schmieden, l. c.

lich lassen sich mit der Heß'schen Methode die Cloetta-schen Resultate bestätigen.

Während Cloetta bei seiner Methode durch verschieden großen Über- und Unterdruck den gleichen Grad der Lungenblähung herstellt, gingen wir aus technischen Gründen den umgekehrten Weg: Durch gleiche positive und negative Druckwerte wurden verschieden große Blähungsgrade geschaffen und aus dem Vergleich der Blutproben Schlüsse auf die Durchblutungsgröße gezogen.

Der Gang der Versuche gestaltete sich folgendermaßen: Nach der ersten Blutentnahme bei normaler Atmung der beiden Lungen und einer zweiten bei isolierter Stickstoffatmung der linken Lunge, wurde ein linksseitiger offener Pneumothorax angelegt. Eine 1—2 cm lange Spaltöffnung im 3.—4. Interkostalraum genügte, um die Atembewegungen der Lunge hinreichend gut beobachten zu können. Ehe es zum Kollaps der linken Lunge kam, wurde der Intrapulmonaldruck auf dieser Seite erhöht und nach einigen Minuten die dritte Blutprobe entnommen. Währenddessen war auf dem Thoraxspalt eine kleine Glasglocke (Fig. 2) luftdicht angebracht worden, was in technisch einfachster Weise dadurch erreicht werden konnte, daß Muskulatur, Fascie und Haut tabaksbeutelartig über die falzförmige Einschnürung des unteren Glockenrandes hinübergezogen und mit Klemmen in dieser Lage fixiert wurden. Die Verbindung des linken Pleuraraumes mit der Atmosphäre und einem Wassermanometer geschah durch zwei Ansätze an der Glaskuppe.

Fig. 2.

Im Anschluß an die dritte Blutprobe wurde nun der positive Innendruck abgelassen und durch Ansaugen an der einen Ansatzöffnung ein dem angewandten positiven Innendruck gleich großer negativer Außendruck in der Glasglocke und damit auch über der linken Lunge hergestellt. Auf diese Weise konnten Kollaps und Druckschwankungen vermieden werden und die Stickstoffatmung durch die Bronchialkanüle während des ganzen Versuchs ohne Unterbrechung aufrecht erhalten werden.

Nach den Cloetta'schen Befunden war bei negativem Außendruck eine wesentlich stärkere Lungenblähung zu erwarten als bei dem entsprechenden intrapulmonalen Überdruck. In der Tat konnte folgender Befund erhoben werden: Wählte man den Innendruck so groß, daß die linke Lunge den Pleuraraum ganz ausfüllte, so wurde durch den gleich großen negativen Außendruck das Lungengewebe zungenartig aus dem Thoraxspalt herausgesogen. Umgekehrt, wenn durch einen anfänglichen Unterdruck die Pleuren zur Berührung gebracht waren, so ließ der gleiche Intrapulmonaldruck die Lunge merklich zusammensinken und einen

Pleuraspaltraum entstehen. Die verschiedenen Wirkungen des Über- und Unterdrucks auf den Grad der Lungenblähung waren hiermit erwiesen. Ferner bestätigten die gasanalytischen Untersuchungen der Blutproben, daß auch die Zirkulation in verschiedener Weise durch den Druck von innen und den dynamisch gleichen Zug von außen beeinflußt wurde.

Die folgenden Zahlen geben wieder den Sauerstoffgehalt der Blutproben in Volumprozenten an (Tabelle II).

Tabelle II.

Geschlossener Thorax Atmosphärendruck		Pneumothorax Überdruck	Pneumothorax Unterdruck	Druck in cm H_2O
Normale Atmung	Stickstoff-Atmung			
17,98	13,76	9,91	9,18	4 cm
16,9	14,2	13,5	12,58	7 cm
17,4	13,8	9,68	9,12	9 cm
13,16	9,64	8,48	6,38	9 cm
16,5	14,08	11,52	9,47	10 cm

Zu dieser Tabelle ist zu bemerken, daß die Reihenfolge der Blutentnahmen nicht in jedem Fall der hier gegebenen Zusammenstellung entspricht, die nur der Übersichtlichkeit halber in dieser Form gewählt wurde. So erfolgte z. B. im 2. und 4. Versuch die Blutprobe bei Unterdruck vor der bei Überdruck, woraus also ein Steigen des Sauerstoffgehaltes auch im Verlauf des Versuchs hervorgeht. In jedem Fall läßt ein Vergleich der Sauerstoffwerte für Über- und Unterdruck deutlich erkennen, daß der Sauerstoffgehalt des Blutes bei positivem Innendruck größer ist als bei gleichem negativen Außendruck. Auf Grund der im methodischen Teil dargelegten Überlegungen darf aus diesen Werten folgendes geschlossen werden: Beim intrapulmonalen Überdruck fließt weniger Blut durch die Stickstoff atmende Lunge als bei gleich großem extrapulmonalen Unterdruck, mit anderen Worten: Das Brauer'sche Überdruckverfahren schafft ceteris paribus schlechtere Durchblutungsbedingungen in der geblähten Lunge als das Sauerbruch'sche Unterdruckverfahren.

Das war auch das Ergebnis von Cloetta's Untersuchungen über die Druckdifferenzverfahren (vgl. p. 19). Ihre Bestätigung durch eine auf ganz anderen Prinzipien und Überlegungen aufge-

bauten Versuchsanordnung macht es wahrscheinlich, daß auch die übrigen mit der plethysmographischen Methode erhobenen Befunde als einwandfrei zu betrachten sind, trotzdem sie den herrschenden Anschauungen durchaus widersprechen.[1]) Leider erlaubte die gegenwärtige technische Ausbildung der Heß'schen Methode bisher noch nicht die Nachprüfung des schon erwähnten, interessantesten Ergebnisses der Cloetta'schen Versuche, wonach sowohl Exspirationszustand wie auch Kollaps der Lunge für die Durchblutung günstigere Bedingungen schaffen sollen als ihre inspiratorische Aufblähung.

Zusammenfassung.

Mit der von Heß angegebenen Bestimmung der Durchblutungsgröße der lebenden Lunge ließ sich durch Blutgasanalyse folgendes feststellen:

1. Bei geschlossenem Thorax ist die Kapazität der Lungenkapillaren abhängig vom intrapulmonalen Druck. Bei Erhöhung findet eine schlechtere, bei Erniedrigung eine bessere Durchblutung statt.

Die Verhältnisse in vivo entsprechen also prinzipiell durchaus den Befunden, die schon früher an herausgeschnittenen Lungen erhoben wurden.

2. Bei offenem Thorax ist der Blähungseffekt des extrapulmonalen Unterdrucks größer als der des gleichen intrapulmonalen Überdrucks.

Diese von Cloetta mitgeteilte Beobachtung wird bestätigt.

3. Bei offenem Thorax findet bei intrapulmonalem Überdruck eine schlechtere Durchblutung der Lunge statt als bei gleich großem extrapulmonalem Unterdruck.

Damit ist am lebenden Organ der experimentelle Beweis erbracht für die physiologische Überlegenheit des Sauerbruch'schen Unterdruckverfahrens gegenüber dem Brauer'schen Überdruckverfahren.

Es sei mir gestattet, Herrn Prof. Morawitz für die Anregung zu dieser Arbeit und das tätige Interesse am Verlauf der Versuche auch an dieser Stelle herzlichen Dank zu sagen.

1) Vgl. hierzu Tigerstedt, Ergebnisse der Physiologie Bd. 2. — Bruns, Deutsches Arch. f. klin. Med. 1912 5. u. 6. H.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich am 5. November 1886 als Sohn des Pastors an der deutschen Gemeinde zu Helsingfors in Finland, besuchte verschiedenartige Schulen zu Bielefeld, Dortmund, Werden und das städtische Gymnasium zu Düsseldorf, das ich Michaelis 1906 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Im ersten Semester widmete ich mich dem Studium der Kunstgeschichte und Archäologie in Kleinasien und Griechenland. Dann studierte ich zwei Semester in Zürich und Freiburg Philosophie und moderne Sprachen, ging endlich im Sommersemester 1908 zur Medizin über, die ich in Berlin und Freiburg studierte und bestand 1913 das Staatsexamen in Freiburg.

Allen meinen Lehrern in Pergamon, Athen und Zürich, in Berlin und Freiburg sage ich hier herzlichen Dank.

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.

G. Pätz'sche Buchdruckerei Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.